Ueber die Beziehung zwischen der Richtung reizender Oeffnungsinductionsströme

und dem

elektrotonischen Effect in der infrapolaren Nervenstrecke.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

unter dem Präsidium

von

Dr. P. Grützner,

o. ö. Professor der Physiologie und Vorstand des physiologischen Instituts zu Tübingen,

der medicinischen Facultät zu Tübingen

vorgelegt

von

Dr. sc. nat. K. Bürker,

approbirter Arzt aus Zweibrücken.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

1900.

Zur Einführung.

In den „Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus" berücksichtigt E. Pflüger die Richtung der die veränderte Erregbarkeit prüfenden Reizströme nur insofern, als sie für den möglichst einwandsfreien Beweis seiner Gesetze zweckdienlich ist. Eine systematische Bearbeitung des Themas finde ich dann, aber nur für den Katelektrotonus, noch bei Br. Werigo[1]); dort wird als Resultat der in dieser Richtung angestellten Versuche ausgesprochen: „im Beginne der Polarisation sowohl bei absteigender als bei aufsteigender Richtung derselben, und zwar zu beiden Seiten der Kathode, sind die adpolar gerichteten Reizungsschläge wirksamer als die abpolar gerichteten". In der infrapolaren Nervenstrecke soll dann im weiteren Verlaufe der Polarisation das eben erwähnte Ueberwiegen der adpolaren Richtung in seinen Gegensatz allmälig umschlagen.

Was sonst in der nicht unbeträchtlichen Literatur über Elektrotonus in Bezug auf den Einfluss der Richtung prüfender Reizströme verbreitet ist, bezieht sich mehr oder weniger auf speciell betrachtete und behandelte Fälle, entbehrt aber jener Allgemeingültigkeit, die es ermöglicht, in jedem Falle anzugeben, was a priori zu erwarten ist.

Man wird aber zugeben, dass eine diesbezüglich leichte Orientirung nicht nur bei speciellen Arbeiten über Elektrotonus sehr wünschenswerth ist, man wird auch in Vorlesungen bei Demonstration elektrotonischer Wirkungen nicht in die Verlegenheit gerathen, eine

1) Br. Werigo, Die secundären Erregbarkeitsänderungen an der Kathode eines andauernd polarisirten Froschnerven. Pflüger's Archiv Bd. 31 S. 456 und 461. 1883.

Depression in der Zuckungsgrösse constatiren zu müssen, wo eine Erhöhung des Effectes zu erwarten wäre. Und dass man in der That leicht zu solch unwillkommenen Constatirungen gelangen kann, beweist die neuerdings wieder von L. Hermann[1]) und A. W. Tschitschkin betonte Thatsache, dass unter gewissen Bedingungen im infrapolaren Katelektrotonus statt erhöhter herabgesetzte Wirkung unzweifelhaft zu beobachten ist.

Aus diesen Erwägungen entsprang zum Theil die nachfolgende Untersuchung, deren Resultate aber vorerst nur für die postulirte Elektrodenlage und für den jeweiligen elektrotonischen Zustand in der infrapolaren Nervenstrecke gültig anzusehen sind.

Methodik.

Sämmtliche hier mitgetheilten Versuche wurden am typischen Nervmuskelpräparat, Musc. gastrocnemius mit Nerv. ischiadicus von Rana temporaria (Winter- und Frühjahrsfrösche) bei ein und derselben Art der Elektrodenlage vorgenommen, und zwar berührte immer die central gelegene Elektrode des polarisirenden Stromes den Nerven in der Mitte des Plexustheiles, die periphere lag eine Strecke unterhalb des Abganges der Nervenäste für den Oberschenkel an; das so zwischen den Elektroden eingeschaltete Nervenstück hatte durchschnittlich eine Länge von 25 mm.

Die Elektroden des Reizstromes waren infrapolar zu denen des polarisirenden Stromes angeordnet. Bei einem gegenseitigen Abstande von 5 mm betrug die Entfernung der centralen Reizelektrode von der peripheren des polarisirenden Stromes gleichfalls 5 mm. Das Nervenstück von der peripheren Reizelektrode bis zur Theilung des Nerven in Peroneus und Tibialis maass annähernd 4 mm.

Für diese Art des Anlegens der Elektroden war maassgebend einmal der Umstand, dass die unmittelbare Nähe der Nervenquerschnitte vermieden werden sollte, dann aber auch die Erwartung, dass bei der relativ beträchtlichen Länge des vom polarisirenden Strome durchflossenen Nervenstückes bei entsprechender Stromstärke kräftige elektrotonische Wirkungen sich entfalten müssen, wodurch auch alle jene im präparirten Nerven stets vorhandenen Bestand-

---

1) L. Hermann und A. W. Tschitschkin, Die Erregbarkeit des Nerven im Elektrotonus. Pflüger's Archiv Bd. 78 S. 53. 1899.

ströme im gewünschten Sinne gleichsam gerichtet werden, die an sich schon elektrotonische Zustände erzeugend, bei schwächer polarisirenden Strömen durch Interferenzwirkungen mit diesen die Resultate möglichst reiner elektrotonischer Versuche trüben könnten. Zu alledem lagen die Elektroden des prüfenden Reizstromes stets an einem Nervenstück von gleichem Querschnitt, das derselbe Strom immer in derselben Dichte durchsetzen musste.

Die Elektroden waren unpolarisirbare in dem physiologisch gebräuchlichen Sinne, aber von besonderer Form. Damit nämlich der Abstand der Elektroden von einander entsprechend den oben angegebenen Zahlen eingehalten werden konnte, damit ferner die Berührungsflächen der einzelnen Elektroden mit dem Nerven stets möglichst gleich grosse seien, konnten hierzu weder die gebräuchlichen Röhrenelektroden, die bei Zusammendrängung auf eine kurze Strecke etwas unhandlich sind, noch viel weniger die grosse Form der du Bois-Reymond'schen Verwendung finden; die compendiösen[1]) von Hermann angegebenen Elektroden standen mir nicht zur Verfügung.

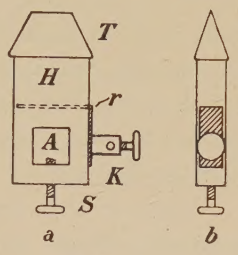


Fig. 1.

Fig. 1 gibt eine der für vorliegende Zwecke besonders hergerichteten Elektroden in natürlicher Grösse wieder, *a* in Vorder-, *b* in Seitenansicht. Aus dem rechteckigen Hartgummistück *H* ist in der oberen Hälfte ein Theil herausgenommen, so dass ein nach oben offenes Kästchen entsteht. Auf dem Boden dieses Kästchens liegt fest auf ein Streifen aus Zinkblech (in der Fig. 1 *a* punktirt gezeichnet), der durch einen Spalt aus dem Kästchen heraustritt und bei *r* rechtwinklig umgebogen ist; diesem Zinkstreifen sitzt bei *K* eine Klemmschraube aus Messing auf. Der ausserhalb des Kästchens liegende Theil des Zinkbleches und die Messingklemmschraube sind mit einem schwarzen Lacke überzogen. Bei *A* ist ein viereckiger Ausschnitt angebracht, damit die ganze Vorrichtung auf einen vierkantigen Elektrodenträger (der, guter Isolation wegen, gleichfalls aus Hartgummi besteht), aufgeschoben und aufrecht erhalten werden könne. Mittelst der Schraube *S* aus Messing wird diese Kästchenelektrode auf dem Träger unverrückbar festgestellt.

---

1) Pflüger's Archiv Bd. 7 S. 332. 1873.

Soll nun dieselbe ihrem Zwecke dienen, so wird zunächst, besonders um Schädlichkeiten von der Berührungsstelle der Messingklemmschraube mit dem Zinkstreifen bei der Herrichtung der Elektrode fernzuhalten, eine eingeschlitzte Gummimembran über den oberen Theil von *H* gezogen, die sich dort fest herum anlegt und alles einhüllt und schützt, mit Ausnahme des Zuganges zum Kästchen. Nun wird mit einem Borstenpinsel Amalgamirungsflüssigkeit in das mit Schellacklösung gedichtete Kästchen eingetragen und das am Boden liegende Zinkblech amalgamirt, darauf ausgespült, mit Fliesspapier ausgetrocknet und nun bis zum oberen Rande des Kästchens ganz weicher Zinksulfatthon eingefüllt; wird diesem dann noch ein keilförmiges Stück Kochsalzthon T aufgesetzt, so ist die Elektrode fertig. Je nachdem man diesem Kochsalzthonstück eine entsprechende Gestalt verleiht, können je zwei Elektroden einander bis auf 1 mm und weniger genähert werden.

Um ein Kriterium für die Zweckdienlichkeit der Elektroden zu gewinnen, wurde der du Bois-Reymond'sche Multiplicator zu Rate gezogen: sind zwei Elektroden in dessen Stromkreis aufgenommen, dann darf bei Berührung der Kochsalzthonstücke ein Ausschlag nicht entstehen.

Auf die Kochsalzthonstücke der so geprüften, passend orientirten Elektroden wird nun der Nerv entsprechend aufgelegt. Ich habe nie mit Unzuträglichkeiten bei Verwendung dieser Elektroden zu kämpfen gehabt und ihre Vorzüge gegenüber den Röhrenelektroden für vorliegende Zwecke schätzen gelernt.

Das Nervmuskelpräparat wurde mit diesen Elektroden in einer von mir schon anderweitig beschriebenen feuchten Kammer[1]) untergebracht, nur wurde statt des Glassturzes mit doppelten Wänden ein einfacher benutzt.

Zur Polarisirung des Nerven dienten 1—4 kleine Daniellelemente, von denen die Drähte durch einen Quecksilberschlüssel und Stromwender hindurch zu den entsprechenden Elektroden in der feuchten Kammer führten.

Ein grösseres, auf seine Constanz geprüftes Daniellelement mit 27 %iger $ZnSO_4$-Lösung statt der verdünnten H_2SO_4 lieferte den primären Strom für einen nach der Fick'schen Methode graduirten Inductionsapparat mit Eisenkern, von dessen secundärer Spule aus

1) Centralbl. f. Physiologie Bd. 13 S. 487. 1899.

eine Verbindung mit den Reizelektroden in der feuchten Kammer unter Zwischenschaltung einer Pohl'schen Wippe und eines Grützner'schen Schlüssels[1]) zur Abblendung nicht gewünschter Reizströme hergestellt war.

Die feuchte Kammer gestattete überdies eine directe Verbindung des polarisirenden und Reizstromkreises mit einem empfindlichen Galvanometer herzustellen, das allerdings die für vorliegende Zwecke nicht ganz geeigneten Spulen enthielt, immerhin aber für die relative Bestimmung der jeweiligen Stromstärken Verwendung finden konnte.

Der Muskel wurde mit einem unter dem Kammerboden befestigten Myographion verbunden, das zur constanten Federspannung nach Grützner eingerichtet war. Die Spannung betrug durchweg in allen Versuchen 20 g. Die Verkürzung des Muskels wurde durch einen Schreibhebel fünffach vergrössert auf eine mit berusstem Glanzpapier überzogene Trommel aufgeschrieben.

Nachdem so Alles passend angeordnet war, musste zunächst mein Bemühen darauf gerichtet sein, da mir speciell dazu construirte Apparate nicht zur Verfügung standen, durch untermaximale Reize möglichst gleichgrosse untermaximale Zuckungen zu erhalten. Mit welchen Schwierigkeiten man dabei zu kämpfen hat, ist bekannt, ich erspare mir die Schilderung des Umweges, den ich gemacht hatte, um schliesslich dahin wieder zurückzukehren, von wo ich ausgegangen war und zwar zum gewöhnlichen Quecksilberschlüssel oder zu dessen von E. Steinach[2]) verbesserter Form.

Bei Benutzung des ersteren zur Schliessung und Oeffnung des Stromes im primären Kreise wurden in je fünf Fällen für die bei einem Spulenabstande (Sp.-A.) von 20 cm erzeugten Schliessungs- und Oeffnungs-Inductionsströme folgende Ausschläge des Galvanometers, in Skalentheilen (Skt.) angegeben, erhalten:

S	*Ö*	*S*	*Ö*
99 Skt.	95 Skt.	88 Skt.	87 Skt.
97 „	94 „	89 „	89 „
96 „	90 „		

Offenbar wird mit der Zunahme der Oxydschicht die Herstellung und Trennung des Contactes immer unsicherer. Der Steinach'sche

1) Pflüger's Archiv Bd. 48 S. 359. 1891.
2) Pflüger's Archiv Bd. 78 S. 286. 1899.

Vacuumquecksilberschlüssel gab unter denselben Bedingungen schon bessere Resultate:

S	*Ö*	*S*	*Ö*
96 Skt.	94 Skt.	96 Skt.	93 Skt.
96 „	92 „	95 „	93 „
95 „	93 „		

Immerhin waren aber noch Differenzen in den Zuckungen bei sonst gleichen Bedingungen zu constatiren, wenn die so erzeugten Ströme dem Nerv zugeschickt wurden. Da drängte sich mir die Frage auf, ob die an Intensität doch ziemlich gleichstarken Ströme einer Art in der That einen so ungleichartigen Verlauf nehmen, dass daraus allein der verschiedene physiologische Effect zu erklären wäre, oder ob diese an sich ziemlich gleichartigen Ströme dem Nerven nur unpassend applicirt werden? Ein örtliches Moment konnte bei dieser Application eine Rolle nicht spielen, denn an der räumlichen Anordnung der Elektroden gegenüber dem Nerven wurde ja nichts geändert; vielleicht aber kam ein zeitliches Moment in Frage.

Ich reizte nun, um eine Entscheidung darüber zu treffen, in gleichen Zeitabständen, indem ich mit einem einfachen, öfters gereinigten Quecksilberschlüssel den primären Strom möglichst gleichmässig schloss und öffnete, wobei aber nur der Oeffnungsinductionsstrom zum Nerven zugelassen wurde: und in der That wurden nun die Zuckungen viel regelmässiger, sie unterschieden sich in ihrer Höhe meist nur wenig von einander, ja, es waren oft Serien gleich hoher Zuckungen zu erhalten.

Man kann sich vorstellen, und diese Vorstellung wird durch eine Reihe von Beobachtungen im Gebiete der Physiologie des Elektrotonus gestützt, dass bei einem gewissen Reize die betroffene Nervenstrecke eine Modification erleidet, die nach dem Verschwinden des Reizes von einer gewissen Ordinatenhöhe aus in einer bestimmten Zeit bis zur Abscisse abklingt. Lässt man nun die Reize so aufeinander folgen, dass sie den Nerven immer an derselben Stelle der Curve, d. h. also zur selben Zeit des Abklingens treffen, dann finden die Reize den Nerven immer in demselben Zustande vor und wirken, wenn anders sie selbst gleich sind, in gleicher Weise. Wird aber in ungleichen Zeitabständen gereizt, dann kann in einem gegebenen Falle die Modification nahezu noch völlig vorhanden, in einem andern Falle aber völlig verschwunden sein, kein Wunder, wenn dann der gleiche Reiz verschiedene Effecte erzeugt.

Ja, man kann beobachten, dass, wenn der Nerv in gleichen Zeitabständen von einer Reihe gleicher Reize getroffen, nunmehr auf die Reizfrequenz sozusagen abgestimmt ist, der Muskel gleichhohe Zuckungen aufzeichnet, geradezu aber eine Verwirrung im Nerven eintritt, sowie in ungleichen Zeiten gereizt wird.

Die graphische Aufzeichnung in Fig. 2 möge dafür einen Beleg bieten. Den Nerv traf der Oeffnungsinductionsstrom Spulenabstand 32 cm vermittelst zweier unpolarisirbarer Elektroden in absteigender Richtung: Abstand der peripheren Elektrode vom Muskel ca. 7 mm, Abstand der peripheren von der centralen Elektrode 5 mm. Die Zuckungen waren untermaximal, bei *a* wurde in Zeitintervallen von 15 Secunden, bei *b* in solchen von 10 Sec., bei *c* in 20 Sec., bei *d* wieder in Zeitintervallen von 15 Sec. gereizt.

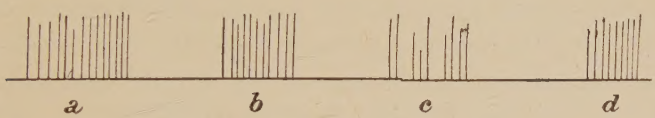


Fig. 2. Zeitintervall bei $a = 15''$, $b = 10''$, $c = 20''$, $d = 15''$.

Man sieht, wie beim Zeitintervall von 15 Sec., *a* der Fig. 2, die Zuckungen nach einigen Unregelmässigkeiten ziemlich gleich hoch blieben, beim Uebergang zum Zeitintervall 10 Sec. (*b*) traten kleine Unregelmässigkeiten auf, verschwanden dann aber wieder, beim Zeitintervall 20 Sec. (*c*) wurden die Zuckungen ganz regellos, ja zwei fielen sogar völlig aus, beim wieder aufgenommenen Zeitintervall von 15 Sec. (*d*) erreichten die Zuckungen wieder die alte Höhe und Regelmässigkeit.

Es scheint nun nicht vortheilhaft zu sein, wenn man abwartet, bis die Modification völlig abgeklungen, also ein stabiler Zustand hergestellt ist, und nun, um eine Zuckung auszulösen, geradezu wieder von der Ruhelage, von der Abscisse aus gereizt werden muss, vielmehr soll der Reiz den Nerven auf einer gewissen, wenn auch geringen Ordinatenhöhe, also noch in einem labilen Zustande der Modification treffen, um gleich stark zu wirken.

Ich bemerke, dass es mir bei Berücksichtigung der eben angeführten Momente aber nur mit dem Oeffnungsinductionsstrome gelungen ist, bei Reizung in gleichen Zeitintervallen, meist 15 Sec., solch regelmässige, untermaximale Zuckungen zu erzielen, der

Schliessungsinductionsstrom zeigte sich sehr renitent, daher ersterer Verwendung fand.

Um dabei der Gefahr unipolarer Wirkungen entgehen zu können, habe ich mich in einem Falle orientirt, unter welchen Umständen diese sich geltend machen: Stand der positive Pol für den Oeffnungsinductionsstrom mit der central gelegenen Reizelektrode in Verbindung, während die Leitung vom negativen Pol her unterbrochen war, dann war der Spulenabstand 9,5 cm erforderlich, um unipolar erregte Zuckungen auszulösen; bei Verbindung des positiven Pols mit der peripher gelegenen Elektrode musste die Spule noch etwas genähert werden auf 9,0 cm. War vom positiven Pol aus die Leitung zugleich mit der Erde und zwar durch die Gasröhren verbunden, so traten erst bei Spulenabstand 8 cm unipolare Zuckungen auf.

Ganz ähnlich lagen die Verhältnisse, als der negative Pol für den Oeffnungsinductionsstrom mit dem Präparate in Verbindung gesetzt wurde, die Leitung vom positiven Pol her aber unterbrochen war.

Da bei einem Spulenabstande von 8,5 cm die Spulen sich übereinander zu schieben beginnen, also in einer Region, wo geringe Verschiebungen der secundären Spule die Stromstärke beträchtlich ändern, 1 cm Verschiebung im Sinne einer Verstärkung des Stromes aber nöthig war, um bei der Verbindung mit der Erde noch unipolare Zuckungen herbeizuführen, die ohne dieselbe ja schon bei 9,5 cm eintraten, so wird in der That durch diese Verbindung die von unipolarer Erregung drohende Gefähr beträchtlich verringert, daher die Verbindung der am meisten peripher gelegenen Elektrode mit der Erde dauernd hergestellt wurde. Unipolare Beeinflussungen kamen nun für unsere Reizungen nicht in Betracht, schon deswegen, weil unsere Reizsphäre bei Benutzung des Oeffnungsinductionsstromes meist zwischen 30 und 40 cm Spulenabstand lag.

Allgemeine Versuchspostulate.

Da die elektrotonischen Zustandsäusserungen aus einer Aenderung der Zuckungshöhe gegenüber der Norm erschlossen werden sollen, der präparirte und den Elektroden aufgelegte, sonst normale Nerv aber meist schon mehr oder weniger durch Bestandströme elektrotonisirt ist, so wird man darauf füglich zu achten und eine Orientirung über den Grad der schon vorhandenen Polarisation vorzunehmen haben. Denn indem man von dem letzteren Zustande als der Null des elektrotonischen Maassstabes ausgeht und auf ihn alle

andern Zustände vergleichend bezieht, muss in der That die Kenntniss der schon vorhandenen Polarisation von wesentlicher Bedeutung sein.

Sie ist auch von Bedeutung schon in Bezug auf den normalen Effect des als elektrotonisches Prüfungsmittel dienenden Reizstroms, in dessen Leitung wohl immer ein, sei es durch Potentialdifferenzen am Längs- und Querschnitt bedingter, sei es ein von den Elektroden herrührender Bestandstrom circulirt; denn obwohl die Elektroden nach den Aussagen des du Bois-Reymond'schen Multiplicators unpolarisirbar und gleichartig sind, so zeigt doch ein empfindliches Galvanometer nur zu deutlich an, dass man sich in Bezug auf Stromlosigkeit bedenklichen Illusionen, wenigstens für vorliegende Fälle, hingegeben hat.

Nun hat aber P. Grützner[1]) nachgewiesen, dass beim Nerven die Wirkung eines gegebenen Inductionsstromes durch gleich gerichtete Bestandströme erhöht, durch entgegengerichtete herabgesetzt wird, indem eben, wie auch L. Hermann[2]) auseinandergesetzt hat, im ersten Falle die wirksame Kathode des Inductionsstromes auf die des Bestandstromes fällt, im zweiten Falle aber auf dessen Anode, daher es nicht mehr merkwürdig erscheint, wenn in dem einen Falle aufsteigende, im anderen absteigende Reizströme die zur Prüfung des elektrotonischen Zustandes dienen sollen, wirksamer sind.

Vor Beginn der Versuche ist also die Stärke und Richtung des Bestandstromes zu ermitteln und zu prüfen, ob der wirkliche Effekt den gehegten Erwartungen entspricht, denn es ist naturgemäss für unsere Untersuchungen von Bedeutung, ob an sich der auf- oder absteigende Reizstrom stärker wirkt.

Von ganz besonderer Wichtigkeit ist aber die Kenntniss nicht nur der jeweiligen Stromstärke des extrapolaren, in den Reizkreis abgeleiteten an- oder katelektrotonischen Stromes, also ihre absolute Ordinatenhöhe, sondern vor Allem die Kenntniss letzterer bezogen auf die Zeit, mit anderen Worten die Ermittlung des Punktes der an- oder katelektrotonischen Stromcurve, in dem momentan die Untersuchung vorgenommen wird. Man hat dabei mit der schon durch du Bois-Reymond bekannt gewordenen Thatsache zu rechnen, dass nach Schliessung des polarisirenden Stromes der extrapolare anelektrotonische Strom allmälig ansteigt, ein Maximum erreicht, um dann sehr langsam abzusinken, während der um Vieles schwächere

1) Pflüger's Archiv Bd. 28 S. 137. 1882.
2) Pflüger's Archiv Bd. 30 S. 7. 1883.

extrapolare katelektrotonische Strom seinem Maximum sehr rasch zustrebt, so rasch, dass man meist erst den im Vergleich zur anelektrotonischen Stromcurve etwas steiler abfallenden Theil der katelektrotonischen Stromcurve zur Beobachtung bekommt. Dabei werden die Curvengipfel beider Ströme um so früher erreicht, je stärker der polarisirende Strom gewählt wird.

Nach der Aufstellung der ebenerwähnten Versuchspostulate gehe ich nunmehr zur Beantwortung der Frage über:

Wie äussern sich Oeffnungsinductionsströme verschiedener Richtung in der infrapolaren anelektrotonischen Nervenstrecke?

Versuchen wir zunächst, dieser Frage auf inductivem Wege näher zu kommen und aus besonderen, bekannten Thatsachen zu erschliessen, was experimentell im Allgemeinen zu erwarten ist.

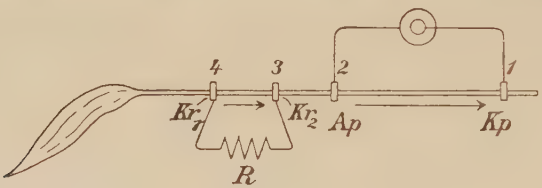


Fig. 3.

Gesetzt, die Reizelektroden lägen, wie verlangt, in der infrapolaren Nervenstrecke, der polarisirende Strom hat dann seine Anode bei *Ap*, Figur *3*, bei *Kp* seine Kathode. Die Richtung des extrapolaren anelektrotonischen Stromes ist dann gleichfalls aufsteigend, wie der kleine Pfeil auch angibt. Von diesem anelektrotonischen Stome wird nun durch die Elektroden *3* und *4* ein bestimmter Antheil in den Reizstromkreis *R* abgeleitet, der bei Elektrode *3* aus dem Nerven aus-, bei Elektrode *4* wieder in ihn eintritt. Für die weiteren Erwägungen ist nun nicht ohne Bedeutung die Frage, ob bei unserer Versuchsanordnung dieser abgeleitete anelektrotonische Strom in der infrapolaren Nervenstrecke selbst wieder polarisirend d. h. für uns nachweisbar erregbarkeitsändernd wirkt.

In einer neueren, schon oben (S. 4 [1]) erwähnten Arbeit hält es L. Hermann in einem ähnlichen Falle „theoretisch für höchst unwahrscheinlich, dass der elektrotonische Strom, welcher als Abgleichung vorhandener Polarisationen betrachtet werden kann, selbstständig polarisirend wirken könnte“ und trifft auch für seine Versuchsanordnung eine experimentelle Entscheidung in diesem Sinne.

Um diese Frage für unsere Anordnung zu erledigen, wurde folgender Versuch angestellt. Dem Nerven wurde mittelst unpolarisirbarer Elektroden ein absteigender, polarisirender Strom von vier kleinen Daniells zugeschickt, dessen Anode der Mitte des Plexustheiles, dessen Kathode hinter dem Abgange der Nervenäste zum Oberschenkel anlag. Zwei weitere, infrapolar angelegte, unpolarisirbare Elektroden, in einem gegenseitigen Abstande von 5 mm, waren dem Muskel möglichst nahe gerückt, sodass die Nervenstrecke zwischen der peripheren Elektrode des polarisirenden Stromes und der central gelegenen infrapolaren etwa 1 cm betrug. In dieser Nervenstrecke, ganz nahe der central gelegenen infrapolaren Elektrode wurden, des beschränkten Raumes wegen, Platinelektroden, die einen gegenseitigen Abstand von 2 mm aufwiesen, angelegt. Darauf wurde zunächst mit Hülfe des Galvanometers constatirt, dass, wenn von den unpolarisirbaren infrapolaren Elektroden abgeleitet wurde, ein katelektrotonischer Strom vorhanden war. Dieser wurde nun unterbrochen und darauf den Platinelektroden ein Oeffnungs-Inductionsstrom zugeschickt, der durch den Katelektrotonus verstärkte Zuckungen veranlasste, die aber noch submaximal gehalten wurden. Alsdann wurde untersucht, ob in den Zuckungshöhen bei Zuführung eines Reizstromes zu den Platinelektroden eine Aenderung eintrat, wenn der von den infrapolaren Elektroden abgeleitete katelektrotonische Strom geschlossen oder geöffnet war, was doch wohl hätte eintreten müssen, wenn dieser selbstständig polarisirender Wirkungen fähig wäre. Es waren aber bemerkenswerthe Unterschiede nicht zu constatiren, ob dieser katelektrotonische Strom geschlossen war oder nicht. Dieses Resultat änderte sich auch nicht, wenn polarisirender und Reizstrom in ihrer Richtung und Stärke variirt wurden.

Demnach bin ich geneigt, dem extrapolaren elektrotonischen Strome im gegebenen Falle selbstständige polarisirende Wirkungen abzusprechen.

Nun kann man aber gelegentlich im Beginne starker Polarisation beobachten, dass beim Umlegen einer in den elektrotonischen Stromkreis eingeschalteten Wippe kräftige Zuckungen erscheinen. Da aber elektrische Erregung ohne Polarisation nicht wohl denkbar ist, so vermuthe ich, dass es sich hier nicht um eigentliche elektrotonische Ströme, sondern um Stromschleifen handelt.

Ich komme nun wieder auf die Figur 3 zurück und nehme an, dass der von den Elektrotoden *3* und *4* abgeleitete extrapolare an-

elektrotonische Strom selbstständiger polarisirender Wirkungen nicht fähig ist.

Wie werden sich nun in dieser infrapolaren anelektrotonischen Strecke auf- und absteigende Reizströme, die den Elektroden *3* und *4* zugesandt werden, äussern? Da diese Reizströme Oeffnungsinductionsströme sein sollen, so wirken sie wie schwache constante Ströme bei Schliessung, wobei der Reiz von der Kathode ausgeht.

Wird nun der Reizstrom absteigend gewählt, also entgegengesetzt dem anelektrotonischen Strom, so wird er seine Kathode Kr_1 auf eine relativ schwach anelektrotonische Strecke setzen, fern von der Anode des polarisirenden Stromes und nahe an den Muskel. Wenn nun auch die unterdrückende Wirkung des Anelektrotonus zur Geltung kommt, so wird man doch bei geeigneter Wahl der Stromstärke Zuckungen erzielen können.

Sp.-Abst. 27,8.
Fig. 4.

Nun werde derselbe Reizstrom in aufsteigender Richtung durch den Nerven geschickt, also im gleichen Sinne wie der katelektrotonische Strom. Dann fällt aber bei der Reizung die Kathode Kr_2 in ein stärker anelektrotonisches Gebiet, das näher an der Anode des polarisirenden Stromes und weiter vom Muskel entfernt liegt, und zwischen das und den Muskel sich ausserdem noch der Anodenbereich des Reizstromes, also ein zweiter Anelektrotonus einschiebt, der sich zu dem schon bestehenden hinzuaddirt. Es ist daher zu erwarten, dass bei der aufsteigenden Richtung des Reizstromes die specifisch anelektrotonische Wirkung, d. h. die Unterdrückung oder wenigstens Abschwächung der ursprünglichen Zuckung stärker hervortritt. Die Zuckungen müssten also unter sonst gleichen Bedingungen gegenüber dem ersten Falle verschwinden oder wenigstens kleiner werden.

Der Versuch bestätigt nun in der That diese von vornherein gehegte Erwartung. Die graphische Aufzeichnung der Zuckungen in Figur 4 gibt dafür einen Beleg.

Der bei Spulenabstand 27,8 cm erzeugte Oeffnungs-Inductionsstrom, in absteigender Richtung durch den nicht polarisirten, als

normal bezeichneten Nerven geschickt, gab die Zuckungen bei „normal ↓“, der gleiche, aufsteigend gerichtete Reizstrom die Zuckungen bei „normal ↑“. Der absteigende Reizstrom erwies sich dabei als ein etwas stärkerer Reiz als der aufsteigende. Darauf wurde der Nerv aufsteigend polarisirt, also so, dass die Reizelektroden in die anelektrotonische Strecke zu liegen kamen: der bei demselben Spulenabstand von 27,8 cm erzeugte Oeffnungs-Inductionsstrom, die anelektrotonische Strecke in absteigender Richtung durchsetzend, veranlasste dann die Zuckungen bei „Anelektrotonus ↓“, wenn die Richtung des reizenden Stromes aber aufsteigend war, die viel niedrigeren Zuckungen bei „Anelektrotonus ↑“.

An dieser Thatsache wird nichts geändert, wenn der Versuch in umgekehrter Folge vorgenommen wird, d. h. wenn der Einfluss der Richtung des reizenden Stromes zuerst im Anelektrotonus und

Fig. 5.

dann einige Zeit nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes geprüft wird, wie Figur 5 demonstrirt.

Ich bemerke zu diesen Aufzeichnungen, dass der von den vier kleinen Daniells gelieferte polarisirende Strom ein starker war im Sinne des Pflüger'schen Zuckungsgesetzes.

Bei einem kleinen Daniell, dessen Strom als mittelstark im Sinne des Zuckungsgesetzes constatirt wurde, trat die unterdrückende Wirkung bei aufsteigendem Reizstrome noch stärker hervor.

Man könnte nun einwenden, dass, wenn beim normalen Nerven der absteigende Reiz an sich stärker wirkt als der aufsteigende, dann auch im Anelektrotonus die geringer unterdrückende Wirkung für den absteigenden Reizstrom schon dadurch plausibel erscheine, weil dieser als ein an sich stärkerer Reiz auch im Anelektrotonus besser gegen die unterdrückende Wirkung ankämpfen könne. Allein man hat dabei zu erwägen, dass der absteigende Reiz gegen den anelektrotonischen Strom andringen muss, also gehemmt wird, und, obwohl er dadurch an Intensität verliert, die unterdrückende Wirkung sich also besser geltend machen müsste, so bleiben dennoch die

Zuckungen höher als bei aufsteigendem Reizstrome; dieser letztere, obwohl gleichgerichtet mit dem anelektrotonischen Strome, vermag trotzdem nur die um Vieles niedrigeren Zuckungen auszulösen.

Weiterhin ist auf jenen Einwand hin zu bemerken, dass bei dem normalen Nerven die Unterschiede in der Zuckungshöhe bei verschiedener Richtung des Reizstromes nur bedingt und abhängig sind von der Richtung der Bestandströme, wie oben auf Grund der Grützner'schen Untersuchungen hervorgehoben wurde, diese Bestandströme nun aber in dem um Vieles stärkeren anelektrotonischen Strome vollends aufgehen, der nunmehr den bestimmenden Einfluss auf die Zuckungen ausübt.

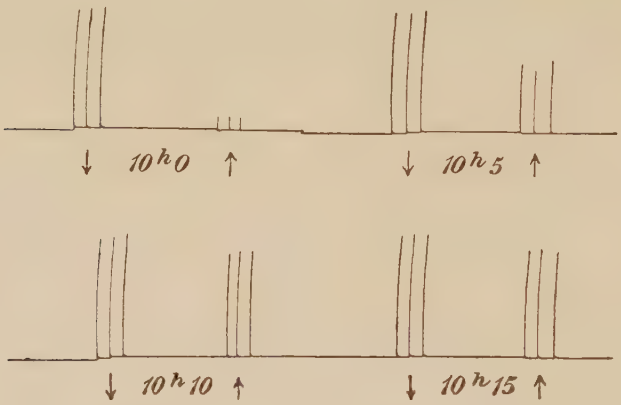


Fig. 6. Anelektrotonus 9^h 55′ hergestellt. Sp.-Abst. 21,4 cm.

Vollends entkräftet wird aber noch jener Einwand durch die des Oefteren gemachten Beobachtungen, dass, wenn auch aufsteigende Reize an sich stärker waren als absteigende, die von ersteren erzeugten Zuckungen während des anelektrotonischen Zustandes dennoch weit hinter denen der letzteren zurückblieben.

Ich stehe also nicht an, für den Beginn der Polarisation das Gesetz auszusprechen: dass der specifisch anelektrotonische Effect, bestehend in einer Abschwächung oder Unterdrückung der ursprünglichen Zuckung unter den gewählten Bedingungen dann besonders deutlich hervortritt, wenn der Reizstrom mit dem anelektrotonischen und polarisirenden Strome die gleiche Richtung hat.

Dieses Gesetz gilt nun nicht nur für den Beginn der Polari-

sation, sondern auch für den späteren Verlauf, wobei freilich mit der Zeit der Unterschied in der Zuckungshöhe für verschiedene Richtung des Reizstromes und die specifisch depressive Wirkung überhaupt geringer wird. Letzteres ist leicht zu beobachten, ersteres zeigt die graphische Aufzeichnung in Figur 6 sehr deutlich. Der anelektrotonische Zustand wurde 9^h 55′ durch Polarisation mit vier kleinen Daniells hergestellt und nun immer nach Verlauf von fünf Minuten die Zuckungen für beide Richtungen des Reizstromes graphisch notirt. Man sieht, wie die um Vieles stärker unterdrückende Wirkung für den aufsteigenden Reizstrom, die hier sehr deutlich ausgesprochen ist, immer schwächer wird und mit der Zeit an Geltung verliert. Schematisch könnte man die verschieden stark unterdrückende Wirkung des Anelektrotonus in Bezug auf den

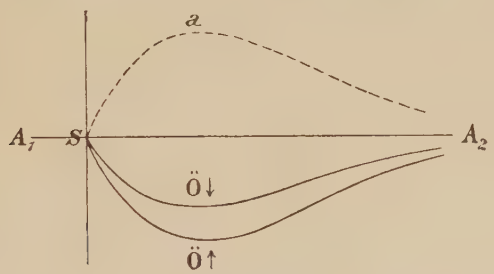


Fig. 7. *a*: Anelektrotonische Stromcurve.

ab- und aufsteigenden Reizstrom und in Rücksicht auf die Zeit (deren Einfluss noch erörtert werden soll) etwa so darstellen, wie Figur 7 es angibt. Auf der Abscissenachse A_1 A_2 sei vom Coordinaten-Anfangspunkt S (Schliessung des Stromes) aus in positiver Richtung die Zeit aufgetragen, die depressive Wirkung des Anelektrotonus für jeden Zeitpunkt als negative Ordinate. Entsprechend der zuerst viel stärker unterdrückenden Wirkung für den aufsteigenden Oeffnungs-Inductionsstrom ($\ddot{O}\uparrow$) senkt sich die Curve viel tiefer herab als die bei absteigendem Oeffnungs-Inductionsstrom ($\ddot{O}\downarrow$). Mit der Zeit nähern sich aber die Curven einander und beide asymptotisch der Abscisse.

Es fragt sich nun, auf welche Umstände sind diese zeitlichen Modificationen des anelektrotonischen Zustandes zurückzuführen, und inwiefern spielt dabei die Richtung der prüfenden Reizströme eine Rolle?

Auf die Veränderungen des specifisch anelektrotonischen Effects, bezogen auf die Zeit, hat schon E. Pflüger hingewiesen und diese

Veränderungen in Beziehung gebracht zu dem galvanischen Ausdruck des Anelektrotonus. Es lassen sich aber diese Beziehungen in der That noch viel bestimmter formuliren, als dies geschehen ist. Wir werden ganz besonders bei der Erörterung der depressiven Wirkung an der Kathode auf diese auch für den Katelektrotonus geltenden Beziehungen zurückzukommen haben. Was auf experimentellem Wege in dieser Richtung zunächst für den Anelektrotonus ermittelt wurde, lässt sich im Allgemeinen so ausdrücken und gilt, wenn auch in verschiedenem Grade, für beide Richtungen des prüfenden Reizstromes.

1. Dem ansteigenden anelektrotonischen Strome folgt, gleichfalls in beständiger Zunahme begriffen, der specifisch anelektrotonische Effect unmittelbar nach, bestehend in der Abschwächung einer Reizwirkung gegenüber der Norm.

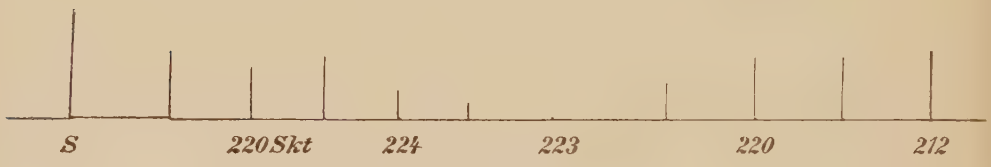


Fig. 8. Entwicklung des Anelektrotonus. Sp.-Abst. 20,8 cm. Reiz ↑.

2. Unmittelbar nachdem der Gipfel der anelektrotonischen Stromcurve erreicht ist, stellt sich auch das Maximum des specifisch anelektrotonischen Effects ein.

3. Dem absteigenden anelektrotonischen Strome folgt auch der specifisch anelektrotonische Effect, gleichfalls abnehmend, unmittelbar nach.

Es steht also offenbar der physiologische Zustand in engem Zusammenhange mit der galvanischen Modification, wobei ersterer einer gewissen Entwicklungszeit zu bedürfen scheint, so dass die Curve des anelektrotonischen Effects dem Charakter nach mit der anelektrotonischen Stromcurve identisch bleibt, in Bezug auf die Zeit aber gegenüber der Stromcurve im Sinne einer geringen Verspätung verschoben wird.

Die in Fig. 8 mitgetheilte Aufzeichnung der Zuckungen spricht wenigstens dafür.

Die Aufzeichnung wurde in der Weise vorgenommen, dass ein Beobachter am Galvanometer den Verlauf des anelektrotonischen

Stromes verfolgte, während ein anderer die Zuckungen aufschreiben liess, so rasch hintereinander, als es die dazu nöthigen Manipulationen gestatteten, etwa in Zwischenräumen von 5—10 Secunden. Alle Zuckungen veranlasste der aufsteigende Oeffnungsinductionsstrom bei einem Spulenabstande von 20,8 cm. Bei *S* wurde der polarisirende Strom von vier kleinen Daniells geschlossen, der absichtlich so stark gewählt wurde, um die anelektrotonische Stromcurve in dem für uns wesentlichen Theile möglichst zusammenzudrängen. Während nun der anelektrotonische Strom noch an Stärke zunimmt (die Zahlen 220 etc. bedeuten die Ablenkung in Skalentheilen), sieht man die specifisch unterdrückende Wirkung immer mehr hervortreten. Bei der Ablenkung von 224 Scalentheilen ist der Gipfel der Stromcurve erreicht, man sieht aber die unterdrückende Wirkung doch noch etwas wachsen, sie lässt nach mit der Abnahme des anelektrotonischen Stromes, nur um etwas verspätet.

Nothwendig für die Constatirung der oben formulirten Sätze ist die Benutzung eines Präparates, dem nach der Präparation etwas Ruhe gegönnt, das ausserdem sonst ungebraucht war. Wiederholte Polarisationen scheinen eben doch mehr oder weniger tiefgreifende Veränderungen zurückzulassen, weniger in Bezug auf die galvanische als auf die physiologische Seite des Anelektrotonus.

Was soeben für den aufsteigenden Reizstrom in Bezug auf die Wandlung des anelektrotonischen Effects in der Zeit mitgetheilt wurde, gilt auch für den absteigenden Reizstrom, man sieht nur die in der schematischen Fig. 7 angedeuteten, quantitativen Unterschiede bestehen, die sich erklären lassen eben dadurch, dass einmal die Kathode des Reizstromes in ein stärker, dann wieder in ein schwächer anelektrotonisches Gebiet fällt.

Die Vorstellungen, welche ursächlichen Momente der Wandlung des anelektrotonischen Effects zu Grunde liegen könnten, sollen bei der Behandlung des analogen Themas für den Katelektrotonus erörtert werden, zu dem ich mich nunmehr wende.

Wie äussern sich Oeffnungsinductionsströme verschiedener Richtung in der infrapolaren katelektrotonischen Nervenstrecke?

Gesetzt die Reizung soll in der infrapolaren Nervenstrecke ein absteigender, dem extrapolaren katelektrotonischen Strom gleichgerichteter Oeffnungsinductionsstrom besorgen; die Kathode dieses Reizstromes Kr_1 (Fig. 9) fällt dann in ein relativ schwach katelektro-

tonisches Gebiet, entfernter von der Kathode Kp des absteigenden polarisirenden Stromes, dem Muskel nahe. Die Wirkung des Katelektrotonus wird aber immerhin in einer Vergrösserung der ursprünglichen submaximalen Zuckung bestehen.

Nun durchsetze derselbe Reizstrom den Nerven in aufsteigender Richtung, also entgegengesetzt dem extrapolaren katelektrotonischen Strome; die Kathode des Reizstromes Kr_2 fällt dann in ein beträchtlich stärker katelektrotonisches Gebiet als bei der entgegengesetzten Richtung. Zwar schiebt sich zwischen Muskel und Kathode des Reizstromes dessen Anode, sie wird aber durch den dort herrschenden Katelektrotonus wohl mehr als compensirt. Demnach ist eine intensivere Verstärkung der Zuckungen bei aufsteigender Richtung des Reizstromes zu erwarten.

Der Versuch bestätigt die a priori gemachte Annahme vollständig, aber, und das sei hier besonders betont, nur für den Beginn

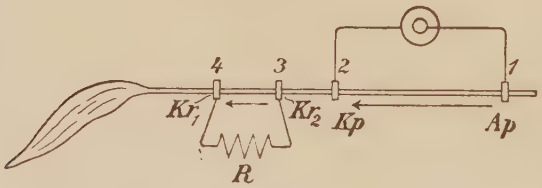
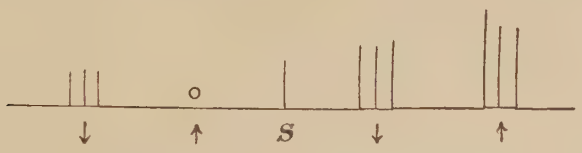


Fig. 9.

schwacher Polarisation. Im Laufe derselben und bei stärkerer Polarisation gleich von vornherein tritt nicht nur das Gegentheil ein, also eine geringere Wirksamkeit des aufsteigenden Reizstromes gegenüber dem absteigenden, sondern es macht sich sogar eine depressive Wirkung geltend, bestehend in einer Verkleinerung und schliesslich Auslöschung ursprünglicher Zuckungen. Wir werden aber, und das sei hier gleich vorausgeschickt, auseinander zu setzen haben, dass damit das Pflüger'sche elektrotonische Gesetz durchaus keine Einbusse erleidet, vielmehr, wenn auch scheinbar aus gegensätzlichen Momenten heraus, eine neue Bestätigung erfährt.

Ich gebe in den folgenden Figuren die graphische Aufzeichnung der im Beginn und Verlauf der Polarisation erhaltenen, unter dem Einflusse des infrapolaren Katelektrotonus stehenden Zuckungen wieder, denen vergleichsweise die bei demselben Spulenabstande erzeugten Zuckungen bei nichtpolarisirtem normalem Nerven beigefügt sind.

Soll die überlegene Wirkung des aufsteigenden Reizstromes demonstrirt werden in Bezug auf den katelektrotonischen Effect, so wählt man dazu ein noch ungebrauchtes Präparat, das durch einen schwachen Strom (im gegebenen Falle von einem kleinen Daniell bei 1 Ohm Nebenschluss) polarisirt wird. Bei nicht polarisirtem Nerven löste der absteigende, bei Spulenabstand 31,8 cm erzeugte Oeffnungsinductionsstrom stärkere Zuckungen aus (Fig. 10 „normal ↓") als der aufsteigende bei demselben Spulenabstande („normal ↑"), der hier gar keine Wirkung äusserte. Bei *S* wurde der polarisirende Strom geschlossen und darauf möglichst rasch die Zuckungen für beide Richtungen des Reizstromes aufgezeichnet. Man sieht die



Sp.-Abst. 31,8 cm
Fig. 10.

Sp.-Abst. 29,6 cm
Fig. 11.

weit überlegene Wirkung auf den aufsteigenden Reizstrom („Katelektrotonus ↑"), die sich in einer viel stärkeren Vergrösserung der ursprünglichen Zuckung geltend macht, obwohl der Reizstrom dem katelektrotonischen Strom entgegengerichtet war, und bei normalem Nerven den schwächeren, hier gar keinen sichtbar wirkenden Reiz abgab. Man hat sich aber zu beeilen, um diese überlegene Wirkung für den aufsteigenden Reizstrom sichtbar zu machen. Lässt man unter sonst gleichen Bedingungen den polarisirenden Strom längere Zeit einwirken, so überwiegt allmälig der absteigende Reizstrom gegenüber dem aufsteigenden, also die von jenem erzeugten Zuckungen sind grösser als die von diesem veranlassten, bis schliesslich vollkommene Depression für den aufsteigenden eintritt.

Wählt man vollends vier kleine Daniells direct zur Polarisation, dann ist die überlegene Wirkung für den aufsteigenden Reizstrom, selbst wenn man so rasch wie möglich arbeitet, kaum mehr zu constatiren,

wohl aber stets die depressive Wirkung, die, je länger ausserdem noch polarisirt wird, um so mehr hervortritt.

In Fig. 11 wurden bei einem Spulenabstande von 29,6 cm zuerst die Zuckungen bei normalem Nerven verzeichnet, darauf im Katelektrotonus, wenn 4 kleine Daniells den polarisirenden Strom lieferten. Sehr deutlich documentirt sich die depressive Wirkung für den aufsteigenden Reizstrom („Katelektrotonus ↑"). Daran ändert sich nichts, wenn zuerst bei polarisirtem Nerven und dann einige Zeit nach aufgehobener Polarisation die Zuckungen verzeichnet werden (Fig. 12).

Sp.-Abst. 29,1 cm
Fig. 12.

Es lässt sich demnach mit aller Bestimmtheit das Gesetz aussprechen: dass **im Beginne schwacher Polarisation** der specifisch katelektrotonische Effect, bestehend in einer Verstärkung der ursprünglichen Zuckung, dann besonders deutlich hervortritt, wenn der Reizstrom dem kat-

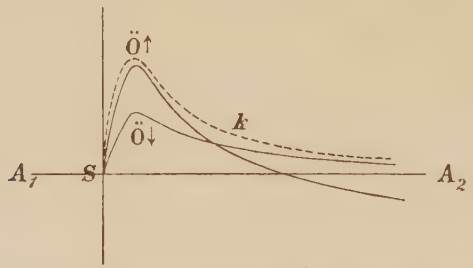


Fig. 13. *k* = katelektrotonische Stromcurve (punktirt).

elektrotonischen und polarisirenden Strome entgegengesetzt gerichtet ist.

Im Verlaufe der Polarisation überwiegt allmälig der absteigende Reizstrom, indem die überlegene Wirkung des aufsteigenden Reizstromes zurückgeht, um schliesslich sogar einer depressiven Wirkung auf die Zuckungen gegenüber der Norm Platz zu machen. Schematisch dargestellt in analoger Weise wie beim Anelektrotonus müsste die Curve des katelektrotonischen Effects (Fig. 13), wie er sich bei aufsteigendem Oeffnungsinductionsstrom (*Ö*↑) äussert, zuerst

sehr rasch ansteigen, viel rascher als beim Anelektrotonus, weniger steil im Vergleich zum Anstiege abfallen, um im Momente beginnender Depression die Abscisse zu schneiden und sich auf der anderen Seite wieder weiter von ihr zu entfernen. Die Curve des katelektrotonischen Effects bei absteigendem Oeffnungsinductionsstrom ($\ddot{O}\downarrow$) würde sich weniger hoch über die Abscisse erheben, um ihr allmälig asymptotisch zuzustreben. Meine Resultate stimmen also, was den Katelektrotonus betrifft, vollkommen mit denen Br. Werigo's überein.

Man kann demnach in Bezug auf die Aeusserungen des in der infrapolaren katelektrotonischen Nervenstrecke aufsteigenden Reizstromes sehr wohl zwei Stadien unterscheiden, und zwar

1. das Stadium des gesteigerten Effects und
2. das Stadium der depressiven Wirkung,

das 1. flüchtig und schwerer nachzuweisen, das 2. deutlich und bei stärkerer Polarisation die Regel.

Da drängt sich denn unwillkürlich die Frage auf, in welcher Beziehung stehen diese, einer strengen Gesetzmässigkeit folgenden Thatsachen zu dem Verlauf des extrapolaren katelektrotonischen Stromes? Nun in einer ganz analogen wie beim Anelektrotonus.

Solange nämlich 1. der katelektrotonische Strom ansteigt, wächst wohl auch für beide Richtungen des Reizstromes der specifisch katelektrotonische Effect, bestehend in der Verstärkung einer Reizwirkung gegenüber der Norm.

2. Der Gipfel der katelektrotonischen Stromcurve stellt wohl auch das Maximum des specifisch katelektrotonischen Effects dar, gleichfalls für beide Richtungen des Reizstromes.

3. Mit der Abnahme des katelektrotonischen Stromes sinkt auch der specifisch katelektrotonische Effect, aber für den aufsteigenden Reizstrom rascher als für den absteigenden bis zur depressiven Wirkung auf ersteren.

Ob hier die Curve des katelektrotonischen Effects gegenüber der katelektrotonischen Stromcurve im Sinne einer Verspätung verschoben ist, konnte nicht ermittelt werden.

Die in 3 angegebenen Thatsachen zu beweisen, ist nicht schwer. Man hat nur wie bei allen diesen feineren elektrotonischen Versuchen stets am frischen Präparate zu experimentiren.

Bei Aufzeichnung der in Fig. 14 graphisch notirten, unter dem Einfluss des infrapolaren Katelektrotonus stehenden Zuckungen wurde, nachdem bei *S* der polarisirende Strom von vier kleinen Daniells geschlossen war, die Stärke des extrapolaren katelektrotonischen Stromes abgelesen und, sowie dieser immer um zehn Skalentheile zurückgegangen war, was ca. 1—2 Minuten dauerte, Zuckungen durch den absteigenden, dem katelektrotonischen Strom gleich ge-

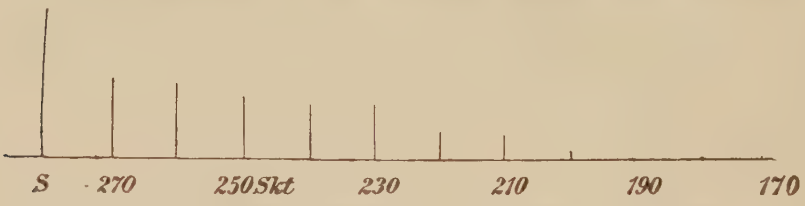


Fig. 14. Abklingen des Katelektrotonus. Sp.-Abst. 32,8 cm. Reiz ↓.

richteten Oeffnungsinductionsstrom bei Spulenabstand 32,8 cm veranlasst. Man sieht sehr deutlich, wie die Verkleinerung des katelektrotonischen Effects gleichen Schritt hält mit der Abnahme des Stromes.

Das allmälige Entstehen und den Verlauf der depressiven Wirkung für den aufsteigenden, dem katelektrotonischen Strom

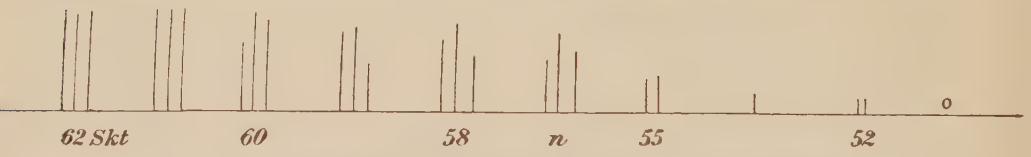


Fig. 15. Entwicklung der depressiven Wirkung im Katelektrotonus. Sp.-Abst. 35 cm. Reiz ↑.

gleichgerichteten Reizstrom gibt die Fig. 15 anschaulich wieder. Bei nichtpolarisirtem Nerven waren die Zuckungen mittelstark, etwa denen bei *n* entsprechend. Nachdem nun Katelektrotonus durch den Strom eines kleinen Daniell hergestellt und die Zuckungshöhe dadurch vergrössert war, wurden in dem Zeitintervalle von 1 Minute jeweils drei Zuckungen hintereinander durch den aufsteigenden Oeffnungsinductionsstrom bei Spulenabstand 35 cm ausgelöst und zugleich die Stärke des katelektrotonischen Stromes abgelesen. Man sieht, wie der katelektrotonische Effect mit dem Zurückgange des Stromes abnimmt und schliesslich in die depressive Wirkung übergeht: Es fällt diese also in den absteigenden Ast der

katelektrotonischen Stromcurve zu einer Zeit, wo der katelektrotonische Strom schon beträchtlich geschwächt ist.

Für die in 1 und 2 (S. 23) aufgestellten Behauptungen, denen nicht ohne Absicht das Wörtchen „wohl" beigefügt ist, einen stricten graphischen Beweis beizubringen, fällt schwer, der Flüchtigkeit der Erscheinungen wegen. Bis man nur den passenden Spulenabstand ausprobirt hat und das Galvanometer zur definitiven Ablenkung kommt, hat der katelektrotonische Strom schon seinen Rückzug angetreten. Man ist daher in der Hauptsache auf Analogieschlüsse angewiesen, kann sich aber auch auf die leicht zu machende Beobachtung berufen, dass man im Beginne des Katelektrotonus bei schwach polarisirendem Strome, um minimale Zuckungen auszulösen, mit der secundären Spule zuerst immer weiter abrücken muss.

Die depressive Wirkung im infrapolaren Katelektrotonus, die schon bald nach E. Pflüger's Publicationen J. Budge[1]), später Th. W. Engelmann[2]) und Br. Werigo[3]) gesehen haben, wird in der schon oben citirten neueren Arbeit von Hermann und Tschitschkin wiederum constatirt und zwar bei elektrischer und mechanischer Reizung. Dabei wird besonders hervorgehoben, dass die Umkehrung der Katelektrotonuswirkung sich stets in voller Unterdrückung, nie in blosser Herabsetzung äusserte. Dass aber in der That auch eine blosse Herabsetzung zu constatiren ist, ja sogar der Uebergang aus dem Stadium des zuerst gesteigerten Effects bis in das der depressiven Wirkung, beweisen die mitgetheilten graphischen Notirungen unzweideutig. Von dem von uns gewonnenen Standpunkte aus wäre auch, wenn man nicht gerade mit sehr stark polarisirenden Strömen experimentirt, eine völlige Unterdrückung ohne blosse Herabsetzung nicht recht verständlich.

Welche ursächlichen Momente liegen der Wandlung elektrotonischer Effecte überhaupt und speciell der depressiven Wirkung im infrapolaren Katelektrotonus zu Grunde?

Die in der Hermann'schen Arbeit erwähnte, von Zanietowsky, Engelmann, Lhoták v. Lhota vertretene Ansicht, dass der Bereich des Anelektrotonus sich bis über die Kathode

1) Virchow's Archiv Bd. 28 S. 296. 1863.
2) Pflüger's Archiv Bd. 3 S. 409. 1870.
3) Pflüger's Archiv Bd. 31 S. 426. 1883.

hinaus erstrecke, wird dort auch discutirt und für unmöglich gehalten. Man wird sich den dagegen angeführten Gründen nicht verschliessen können, man wird aber auch zugeben, dass die alsdann mitgetheilte Vorstellung nicht recht befriedigt, wonach „die negative Polarisation in diesem Falle (sobald die depressive Wirkung an der Kathode eintritt) nahezu ihr Maximum erreicht hat, so dass eine Erhöhung der Negativität, welche ja mit der Erregung innig verbunden ist, nicht leicht erfolgen kann".

Vielleicht vermag nun die nachfolgend mitgetheilte Vorstellung die in Rede stehende Erscheinung leichter und ungezwungener zu erklären.

Wir haben oben gezeigt, dass die specifisch elektrotonischen Zustandsänderungen an der Anode und Kathode, als der Ausdruck gegensätzlicher physiologischer Stimmungen im Beginne der Polarisation zunehmen, um aber bald ein Maximum zu erreichen, das an der Kathode beträchtlich früher eintritt als an der Anode. Wir konnten weiterhin constatiren, wie im Verlaufe der Polarisation die elektrotonischen Effecte eine Abschwächung erfahren, an der Kathode wiederum früher als an der Anode, durch Gegenwirkungen, die auch in der Abnahme der extrapolaren elektrotonischen Ströme einen entsprechenden Ausdruck finden. Es ist nun ferner ausreichend bekannt und genugsam bewiesen, dass nach Unterbrechung des polarisirenden Stromes die physiologischen Zustände an der Anode und Kathode in ihr Gegentheil umschlagen, indem jetzt, was vorher Anode war, Kathodenwirkung äussert und umgekehrt.

Was aber ist, das muss geworden sein, und so auch diese Zustandsänderungen. Sie sind nicht erst da nach Oeffnung des Stromes, der polarisirende Strom selbst weckt sie, noch während er fliesst, und dass sie es an Gegenwirkungen nicht fehlen lassen, beweist eben der Rückgang des extrapolaren elektrotonischen Stromes.

Wenn aber unter der Anode eine Gegenwirkung entsteht, was soll das anders sein als eine secundär polarisatorische Kathode, und wenn unter der Kathode widerstrebende Kräfte angreifen, liegt da nicht der Gedanke an eine secundär polarisatorische Anode nahe? Sieht man doch beide rein und ungehemmt zur Geltung kommen nach Oeffnung des Stromes.

Nimmt man nun solche secundär polarisatorischen Elektroden an, dann liegt für die depressive Wirkung im infrapolaren Katelektrotonus die Erklärung nahe, dass bei der aufsteigenden Rich-

tung des Reizstromes die der Kathode des polarisirenden Stromes nahe gelegene wirksame Kathode des Reizstroms in ein secundär polarisatorisches Anodengebiet fällt, das sich, entsprechend der Stärke und Dauer des Stromes, allmälig entwickelt, oder wenigstens in ein solches, in dem kathodische und anodische Interferenzwirkungen stattfinden. Ja, ich finde sogar für diese Annahme einen experimentellen Anhaltspunkt in der schon oben erwähnten von L. Hermann citirten Engelmann'schen Arbeit, wo S. 409 zu lesen ist: „Es kann — beim Ueberschreiten einer gewissen mässigen Stromstärke die Erregbarkeit — vor dem absteigenden Strom erniedrigt sein. Und zwar ist die Erniedrigung am stärksten in der unmittelbaren Nachbarschaft des negativen Poles, nimmt mit der Entfernung von diesem ab und geht — was höchst bemerkenswerth — in noch grösserem Abstand von der Kathode in Erhöhung der Erregbarkeit über." Drängt sich da nicht der Gedanke auf, dass hier Engelmann extrapolar das secundär polarisatorische Anodengebiet abgegrenzt hat, muss da der Indifferenzpunkt über die Kathode hinausgewandert sein, wie Engelmann anzunehmen scheint? Ferner constatirt Hermann selbst in seiner Arbeit[1]) S. 54: „Die Unterdrückung des Erfolges tritt stets erst oberhalb einer gewissen Intensität des polarisirenden Stromes ein, welche um so niedriger ist, je näher man mit der Reizstrecke an die Kathode heranrückt" nach unserer Auffassung, je mehr man sich dem Centrum des secundär polarisatorischen Anodengebiets nähert.

Man wird einwenden, dass die secundär polarisatorische Kathode unter der Anode des polarisirenden Stromes doch niemals Erhöhung der Erregbarkeit statt Herabsetzung derselben bedingt. Darauf ist zu erwidern, dass eben der anodische Zustand an sich dem kathodischen überlegen ist, gleichwie auch der anelektrotonische Strom den katelektrotonischen an Stärke weit übertrifft, daher, wenn anodischer und kathodischer Zustand mit einander interferiren, unter sonst gleichen Bedingungen ersterer den Sieg davonträgt. Und dass gerade für die Kathode sehr rasch polarisatorische Gegenwirkungen sich geltend machen, beweist der rasche und intensivere Rückgang des katelektrotonischen Stromes ganz im Gegensatze zum anelektrotonischen. Dass aber immerhin an der Anode Gegenwirkung nicht fehlt, dafür spricht die auch schliesslich eintretende Abschwächung des anelektrotonischen

1) Pflüger's Archiv Bd. 78.

Stromes und des specifischen anelektrotonischen Effects, nur kommt es nicht zum Ueberwiegen der secundär polarisatorischen Kathode.

Ich habe nun noch, als die Annahme solch secundär polarisatorischer Elektroden möglich erschien, auf Vorschlag von Herrn Professor Grützner folgenden Versuch angestellt.

Ein Platindraht von 0,8 mm Dicke und 10 cm Länge wurde mit Jodkaliumstärkekleisterpapier, das zur elektrolytischen Stromaufzeichnung Verwendung findet, umwunden. Das Papier legte sich als etwa 2 mm dicke Hülle fest um den Platindraht herum als Kern an und wurde nun mit Wasser befeuchtet. Dem so hergestellten Kernleiter, der in der That alle Eigenschaften eines solchen aufweist (die extrapolar abgeleiteten Ströme waren auf der Seite der Anode stärker als auf der der Kathode), wurde nun durch Platinelektroden, die etwa 3 cm von einander abstanden, der Strom eines Accumulators zugeleitet. Sofort entstand an der der Hülle aufliegenden Anode ein blauschwarzer Fleck, an der Kathode war äusserlich nichts zu sehen. Sowie aber das Papier unter derselben nach dem Platindrahte zu weggeschabt wurde, kam auch dort an der Grenze zwischen Hülle und Kern Jodstärke zum Vorschein. Der Platindraht unter der Anode aber war frei von dieser.

Wurde der Strom durch Zinkdrähte zugeleitet, dann war nur eine Spur von Jod äusserlich an der Anode zu constatiren, unter der Kathode am Platindraht war wieder reichlich Jodstärke vorhanden. Man sieht also in beiden Fällen unter der Kathode eine secundäre Anode liegen; wurden drei solche Kernleitermodelle zusammengebunden, so zeigte jedes die secundär polarisatorischen Anoden. — Man wird aber bei den vielen Analogien, welche die Verhältnisse am Kernleiter mit den Zuständen im polarisirten Nerven zeigen, an die Möglichkeit ähnlicher secundärer Polarisation auch im Nerven denken und ihr Bestehen für die Erklärung der depressiven Wirkung an der Kathode herbeiziehen dürfen.

Unsere so gewonnene Vorstellung an dem gewaltig angehäuften diesbezüglichen Material zu prüfen und die Resultate der Prüfung hier mitzutheilen, ginge über den Rahmen vorliegender Arbeit hinaus. Man lasse selbst einschlägige physiologische Thatsachen vor dem nunmehr gewonnenen Standpunkte Revue passiren, und man wird viele leicht übersehen und begreiflich finden, wenn man dabei auf den jeweiligen Zustand des Präparates, auf den Verlauf der extrapolaren elektrotonischen Ströme, auf die Richtung der Reizströme

Rücksicht nimmt und an die Möglichkeit secundär polarisatorischer Gegenwirkungen denkt, die für die primäre Kathode offenbar eher in Betracht kommen als für die primäre Anode.

Was dann als scheinbare Ausnahme des Pflüger'schen elektrotonischen Grundgesetzes imponirt, ist nur ein Beweis desselben e contrario.

Allgemeine Resultate.

Um einen Ueberblick über die Resultate vorliegender Arbeit zu ermöglichen, sei Folgendes kurz zusammengestellt.

1. Im infrapolaren Anelektrotonus kommt die specifisch unterdrückende Wirkung für den aufsteigenden Reizstrom besser als für den absteigenden zur Geltung.

2. Im infrapolaren Katelektrotonus lässt zu Beginn der Polarisation der aufsteigende Reizstrom, im Verlaufe derselben der absteigende den specifisch gesteigerten Effect besser erkennen[1]).

3. Mit der Zeit treten in den eben geschilderten Effecten Wandlungen ein, und zwar nehmen sie bei beiden Richtungen des prüfenden Reizstromes, wobei aber die angegebenen quantitativen Unterschiede zwischen beiden bestehen bleiben, zuerst zu, dann ab, im infrapolaren Anelektrotonus langsamer, im infrapolaren Katelektrotonus viel rascher; für letzteren kommt schliesslich bei aufsteigender Richtung des Reizstromes eine allmälig sich entwickelnde depressive, statt gesteigerte Wirkung zu Stande.

Es erklären sich aber diese Wandlungen aus dem Verlaufe der extrapolaren elektrotonischen Ströme und bei Annahme polarisatorischer Gegenwirkungen, indem unter der Kathode des polarisirenden Stromes im Nerven secundäre Anoden entstehen und umgekehrt, so,

dass das Pflüger'sche elektrotonische Grundgesetz mit den realen Erscheinungen im Einklange bleibt, trotz scheinbarer, aber in der That nur scheinbarer Ausnahmen.

---

1) Man wird daher in Vorlesungen bei Demonstration elektrotonischer Wirkungen in der infrapolaren Nervenstrecke, um ganz sicher zu gehn, gut thun, Oeffnungs-Inductionsströme als Reizströme zu wählen, die mit dem jeweiligen polarisirenden und extrapolaren elektrotonischen Strome die gleiche Richtung haben.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.